

佐賀大農集 (Bull. Fac. Agr., Saga Univ.) 71 : 145~151 (1991)

## 有明海の干潟が海水中のクロロフィル量に与える影響

畑 さゆり・渡辺 潔・瀬口 昌洋\*・田中 明

(生産環境工学講座)

平成3年5月31日受理

## Influence of Tidal Mudflat on Chlorophyll Amount in Ariake Sea

Sayuri HATA, Kiyoshi WATANABE, Masahiro SEGUCHI and Akira TANAKA

(Laboratory of Agricultural Land Engineering)

*Received May 31, 1991*

### Summary

In this paper, we investigated the influence of the tidal mudflat on variation and distribution of chlorophyll amount in Ariake Sea.

The results are following.

On the whole, the chlorophyll amount is large near the tidal mudflat. The peak in variation of chlorophyll amount at the Funatu port is higher and appears faster than at the Taira port. These results show that phytoplankton increased in the tidal mudflat are transported by tidal flow in Ariake sea.

In the tidal mudflat, the chlorophyll amount and suspended solids decreased on flood tide and increased on ebb tide.

Chlorophyll amount and suspended solids are closely related with each other in the tidal mudflat. These relationships slightly differ in the daytime and nighttime. This reason seems to be due to that photosynthesis production depends on the light intensity.

The transport of chlorophyll increased in the tidal mudflat in simulated with the numerical model. The numerical results almost coincide with the observation results.

Key words : chlorophyll, Ariake Sea, tidal mudflat, suspended solid, finite element method

### 緒 言

有明海は日本有数の干潟を持ち、かつ閉鎖系の特徴を大きく持つ内湾である。この干潟では海底まで豊富な酸素や日射が供給され、さらに河川が豊富な栄養塩や有機物を継続的に運んでくるため、バクテリア、海藻、小動物などが繁栄し、有用魚介類にとって絶好の住かとなっている。また干潟は赤潮や貧酸素水塊ができるのを防ぐといった特徴も持っている。つまり干潟は生産機能と浄化機能の両方の機能を果たしている。

干潟域においては干潮時にその表面部は付着性珪藻によって密に被覆されており、ムツゴロウや貝類などの好適な餌料となっている。有明海湾奥部の植物プランクトンの季節的变化につ

\* 浅海干潟総合実験施設

いては、年によって異なるが、春、秋季の珪藻類の増殖は比較的少なく、冬季には珪藻が爆発的に増殖することが知られている<sup>2-8)</sup>。

しかし、干潟域における潮汐に伴うクロロフィル量の時間的変化に関して有明海において観測された例はみられない。

本研究では干潟の存在が有明海の植物プランクトン量の分布、経時変化に及ぼす影響について、主としてごく沿岸における観測結果と潮流と物質輸送の数値モデルの有限要素法による数値解にもとづいて検討した。ただし、ここでは植物プランクトン量を直接測定せずに海水中のクロロフィル量を測定した。

クロロフィルは光合成に不可欠の緑色色素で光合成に直接関与しており、水域においては、その量が藻類量の目安として利用されている<sup>9)</sup>。このクロロフィル量は光、水温、SS、水深、流速などの物理的環境要因のほか、化学的および生物的要因が複合的に作用した結果として生産と消費がなされるもので、有明海の問題を考える際に最も適した環境評価指標と考える。

#### クロロフィル量の測定法

クロロフィルの測定法として吸光光度法<sup>9-13)</sup>を用いた。その際、採水した水を即座に濾過、抽出、測定するのが望ましいが、実際には採水場所が広範囲にわたっているため、時間的な制約から濾過、抽出、測定を採水後時間をおかずに行うことは難しい。したがって本研究においてはつぎの3つの方法を適宜使用した。①濾紙保存法：採水後ただちに現場で濾過を行い、濾紙をドライアイスを用いて冷凍保存し、実験室で抽出、測定を行う方法である。採水から抽出までの経過時間は12~36時間である。②原水保存法：採水後、その水をそのまま持ち帰り、実験室で濾過、抽出、測定を一度に行う方法である。採水から抽出までの経過時間は濾紙保存法と同様である。③即時測定法：採水後すぐに濾過、抽出、測定を行う方法である。これは主として実験室の近傍で採水した場合に使用した。また、この方法は最も信頼できるので、①、②の方法の測定精度を調べるために比較対象として使用した。

まず、①、②の方法の精度を調べるために試験採水を行った。

干潟域では付着性植物プランクトンは泥とともに沈澱するので原水の一部を濾過するような場合、濾過直前の原水の攪拌程度によって測定値が異なる。そこでクロロフィル測定に際しては正確な値を得るために濾過する前にとくによく攪拌する必要がある。

濾紙保存法及び原水保存法と即時測定法の測定値の比較を行った結果、3つの方法による違いはほとんどみられなかった。

#### クロロフィル量の観測結果および考察

まず干潟近傍におけるクロロフィル量を観測し、つぎに干潟域内でのクロロフィル量の時間的な変化について調べた。観測地点を図-1に示す。

多比良港・船津港における観測は満潮時刻が12:00前後となる1990年9月9日に行った。結果を図-2に示す。測定法は濾紙保存法である。この図から多比良港、船津港ともに干潮時刻頃にクロロフィル量が増加しているのがわかる。船津港では多比良港に比べて急激に増加し、また減少している。さらに両者のピークには幾分かのずれがみられる。

これらの観測結果から干潟で植物プランクトンが増加し、さらに潮流によって植物プランク



図-1 観測地点

トンが運ばれていくことが推測された。

有明海湾奥部については、1990年8月27日10:00～12:00に12地点の採水を行った。測定法は濾紙保存法である。結果を図-3に示す。

この図から湾奥部においては、 $10 \sim 15 \mu\text{g}/\ell$ の範囲の値を示したが、干潟域の最も沖側の3地点では $4 \sim 8 \mu\text{g}/\ell$ と少ない。概して干潟に近いほどクロロフィル量が多いが、このことは干潟の存在するところほど植物プランクトンが多いことを表しているとも言えよう。

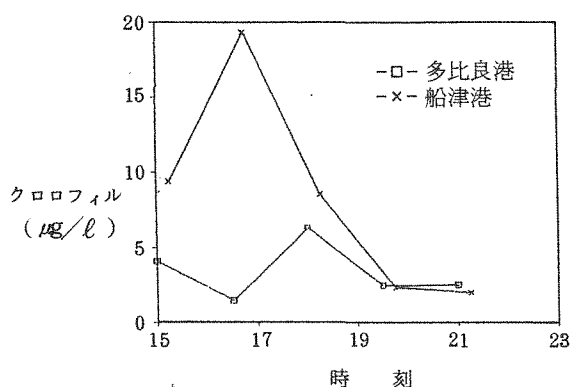


図-2 多比良港と船津港のクロロフィル量の経時変化

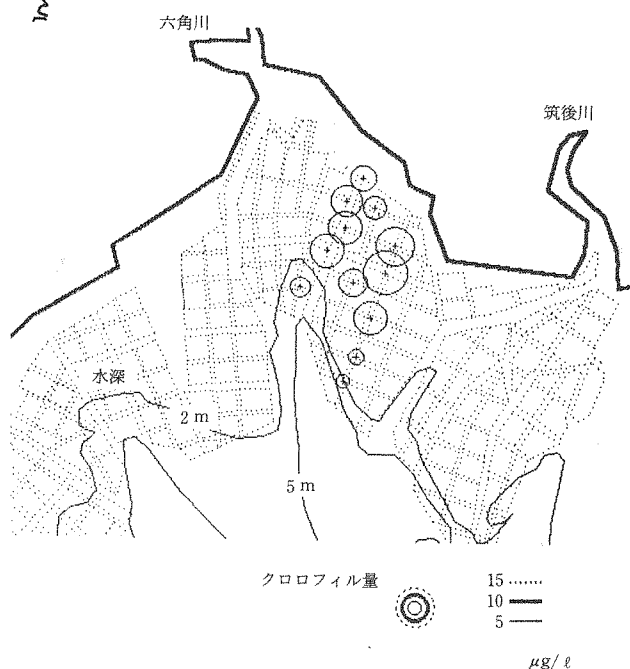


図-3 有明海湾奥部におけるクロロフィル量の分布

つぎに干潟域内でのクロロフィル量の経時変化について観測を行った。大宰府を観測場所とし、あらかじめ岸から約100mの地点までビニールホースをひいておき、吸引ポンプで水面下20cmの位置の海水を吸引して採水した。

観測は大潮の日の満潮時刻の前後1時間程度とし、その時間帯が早朝、昼間、夜間となる日をそれぞれ選んで、11月7日(昼間)、11月16日(夜間)、11月17日(早朝)に行った。

測定方法は7、17日は即時測定法を用い、16日は原水保存法を用いた。観測結果を図-4に示す。図には相対的な水位変化も併せて示している。7、16及び17日の満潮時刻はおおの12:20、20:15及び9:15頃である。

これらの観測結果から、若干の例外はあるがクロロフィル量、SSは満潮を境にその前では減少し、その後では増加する傾向にあるということがわかる。ただし、増加減少の割合は測定

日によって異っており、これは観測時の風の強さが影響しているものと思われる。この場合引き潮時のクロロフィル量の最大は約50~100 $\mu\text{g}/\ell$ である。

クロロフィル量とSSは潮の満ち引きとともに、同じような変化を示しており、両者には深い関係があると言えよう。図-5にSSとクロロフィル量の関係を示したが、SSとクロロフィル量は相関(相関係数0.95)が高いことがわかる。これは満ち潮時と引き潮時に生じる底泥の巻き上げがSSの増加をもたらすが、それとともに干潟の泥に付着している植物プランクトンも巻き上げられるためであると考えられる。しかしSSが少ない場合、すなわち海水の濁りが少ない場合、測定時刻によって相関関係がやや異なっているのは、その測定時刻の日射量や水温と関係しているものと思われる。

筑後川河口域でのSSとクロロフィル量の観測例<sup>14)</sup>においても同様に両者には深い関係があることが示されているが、河口域では浮遊性の珪藻(*Skeletonema*, *Chaetoceros*)が多く含まれているのに対し、本研究で観測した干潟域では付着性珪藻(*Pleurosigma*)が主に含まれており、植物プランクトンの種類には違いがみられる。

また干潟域から離れると流速が小さく、水深が深くなるので、クロロフィル量は光、水温の影響を大きく受けるのではないかと考えられるが、この点については今後の研究課題である。

#### 潮流及び海水中的のクロロフィル量の 拡散解析

観測結果および既往の研究に基づいて考察した結果、干潟の存在が有明海のクロロフィル量の平面的分布および経時変化に大きく影響していることが明確となった。さらに干潟域では底泥の巻き上げによってクロロフィル量が増加し、引き潮にともなって移動していくことが推測された。そこで、数理モデルによる数値シミュレーションによって、諫早湾で引き潮のときにクロロフィル量がゼロから1まで増加するとしたとき、引き潮とともにどのように拡散していくかを調べた。ここでは諫早湾の湾

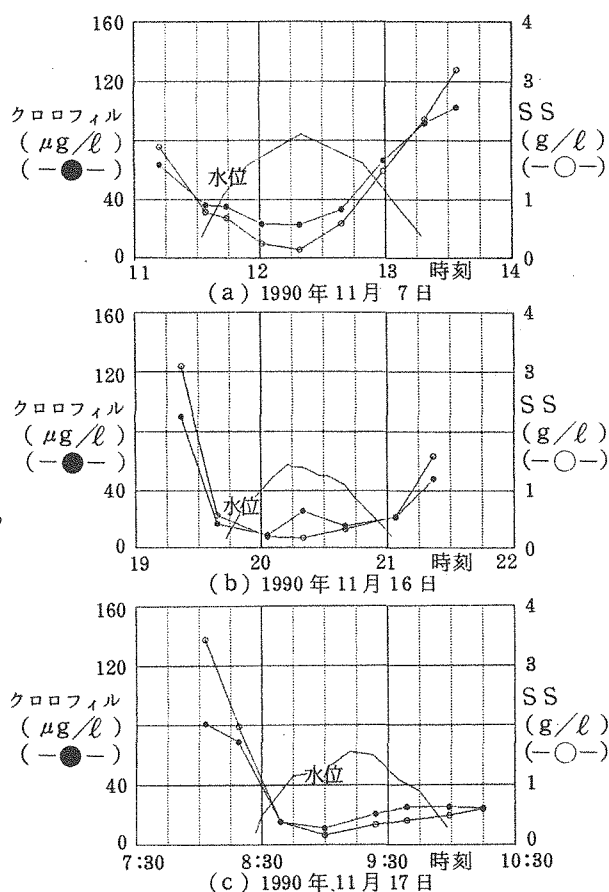


図-4 干潟域(大授)における観測結果

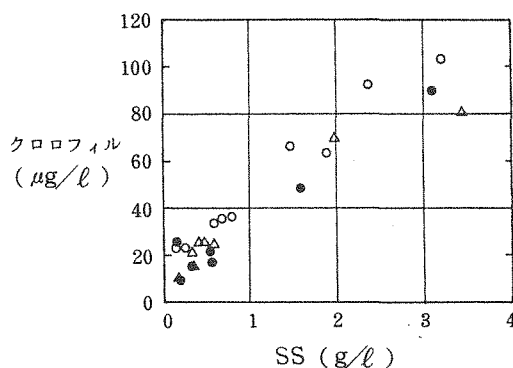


図-5 クロロフィル量とSSの関係  
(○)昼間, (●)夜間, (△)早朝

口付近について調べることにして、他の水域の干潟におけるクロロフィル量の増加はないものとした。

つぎの潮流と拡散の基本式<sup>15)</sup>に基づく数値モデルを使用した。

座標 (x, y) は水平面内の 2 次元平面座標, u, v および C は x, y 方向の流速及び物質濃度である。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \xi}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \xi}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial H u}{\partial x} + \frac{\partial H v}{\partial y} = 0$$

$$H \frac{\partial c}{\partial t} + H u \frac{\partial c}{\partial x} + H v \frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} (H D \frac{\partial c}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y} (H D \frac{\partial c}{\partial y}) = 0$$

ここで, g : 重力の加速度, H = h + ξ, h : 平均水深, ξ : 潮位, D : 拡散係数で 100 m<sup>2</sup>/sec とする。ただし, クロロフィル量の生成及び巻き上げ, 沈降はないものとした。

本研究において潮流解析では川原の Selective Lumping Two Step Explicit Method<sup>16)</sup>を用いた。また物質拡散解析には Explicit Leap-Frog Method<sup>17)</sup>を用いた。時間ステップは 60 sec, ランピングパラメータは 0.91 とした。

物質拡散解析において, 係数行列の集中化に伴って人工拡散項<sup>18,19)</sup>が発生する。この人工拡散項の大きさを算定するために, 有明海とほぼ同じオーダーの矩形領域における解析解と有限要素法による数値解を比較した。この結果, 拡散係数を 0 としたときの数値解が拡散係数を 100 m<sup>2</sup>/sec<sup>20)</sup>とした場合の解析解とほぼ一致した。

数値解析に使用した要素分割図を図-6 に示す。湾口部の境界条件は周期 12 時間, 振幅 1 m とした。数値計算は各地点の水位, 濃度が定常周期的な変化をするまで行った。初期条件を適当に与えた後, 36 時間経過するとほぼこの状態に達した。図-6 に示す各点における潮位, 濃度の経時変化を図-7 に示す。また物質拡散の様子を図-8 に示す。

干潟で引潮時にクロロフィル量が 50~100 μg/l とすると, 図-7 から船津港と多比良港の位置におけるピーク値はそれぞれ 10~20, 5~0 μg/l となり, 各地点における観測値とほぼ近い値を示した。また濃度がピークとなる時間のずれもほぼ一致している。

しかしこのモデルでは植物プランクトンの光合成による生産と動物プランクトンによる捕食を無視していること及び S S の巻き上げ・沈降に伴うクロロフィル量の増加・減少の機構を考慮していないので, 干潟から遠距離におけるクロロフィル濃度分布の様相はこの計算結果とかなり異なっていると思われる。この要因を考慮した数値モデルの開発が今後必要と考える。ま

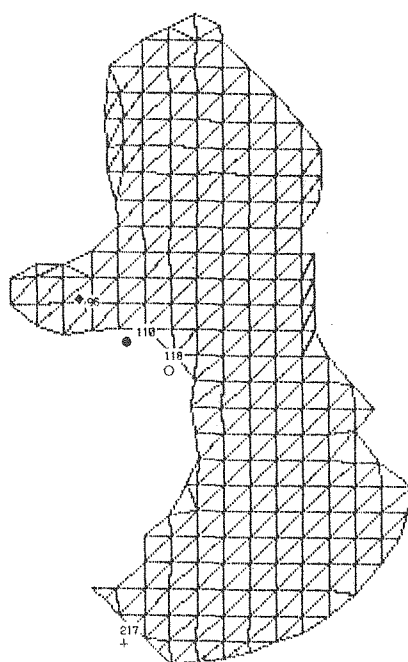
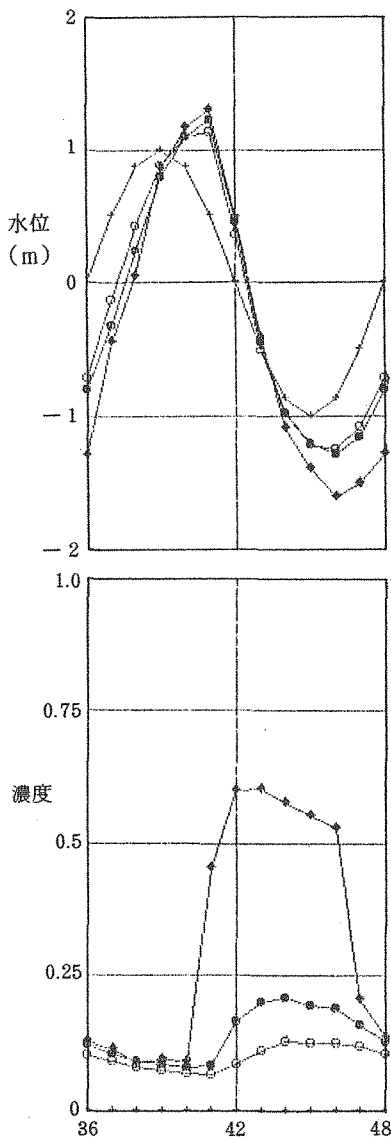
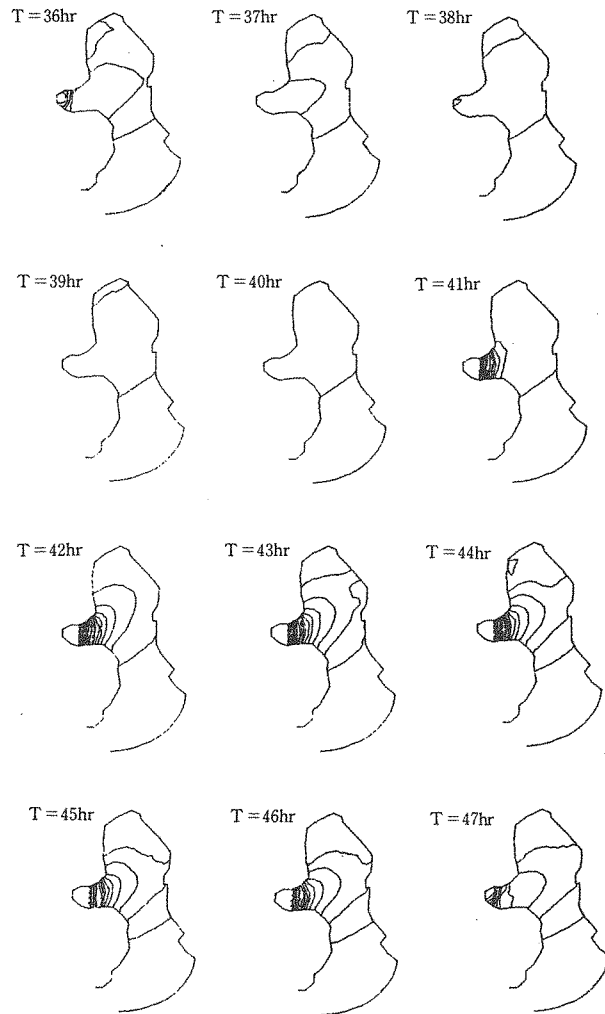


図-6 要素分割図



時間  
○ Na. 118  
+ Na. 217  
● Na. 110  
◆ Na. 96

図一七 水位と濃度の計算結果



図一八 干潟からのクロロフィル拡散の様子

た干潟の消長については大西の方法<sup>21)</sup>によって処理したが、移動境界値問題として処理する方法についても検討する必要があると考える。

### 摘 要

本研究では干潟の存在が有明海のクロロフィル量の時間的、平面的な変化に及ぼす影響について検討した。得られた成果はつぎのようである。

全体的には干潟に近いほどクロロフィル量が多い。また船津港におけるクロロフィル量変化におけるピークは多比良港よりも大きくまた早く出現する。これらの結果は干潟域で植物プランクトンが増加し、潮流によって運ばれていくことを示している。

干潟域ではクロロフィル量とSSは満ち潮で減少し、引き潮のとき増加する。またクロロフィ

ル量とSSは密接な関係があるが、これらの関係は昼間と夜間でわずかに異なる。この理由は光合成量が日射量に依存することによるものと思われる。

干潟域で増加したクロロフィルの輸送現象を数理モデルによってシミュレートした。この結果は観測値とほぼ一致した。

## 謝 辞

クロロフィル量測定にあたっては作物学研究室および園芸工学研究室の分光光度計を使用させていただいた。ここに謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 井上尚文 (1980) : 有明海の物理環境, 沿岸海洋研究ノート, 17(2), 151-165
- 2) 半田亮司, 山下輝昌 (1985) : 有明海湾奥における植物プランクトンの季節的消長とノリ生産について, 福岡有明水試研報, 21-28
- 3) 半田亮司 (1986) : 有明海湾奥における植物プランクトンの季節的消長, 福岡有明水試研報, 93-97
- 4) 半田亮司 (1987) : 有明海湾奥における植物プランクトンの季節的消長, 福岡有明水試研報, 27-31
- 5) 半田亮司 (1988) : 有明海湾奥における植物プランクトンの季節的消長, 福岡有明水試研報, 31-34
- 6) 半田亮司 (1989) : 有明海湾奥における植物プランクトンの季節的消長, 福岡有明水試研報, 43-48
- 7) 古賀秀昭 (1986) : 昭和59年度における植物プランクトンの出現状況とその発生予測について, 佐賀有明水試研報, 10, 89-99
- 8) 山下輝昌 (1981) : 有明海湾奥におけるプランクトンの季節的消長—XIII, 福岡有明水試研報, 95-102
- 9) 日本海洋学会編集 : 海洋環境調査法, 恒星社厚生閣, 373-381
- 10) 合田 健ほか (1979) : 水環境指標, 思考社, 237-239
- 11) 気象庁 (1970) : 海洋観測指針, 日本海洋学会, 250-252
- 12) 西條八束 (1973) : 海洋の基礎生産, 海洋生化学, 東海大学出版会, 289-297
- 13) 半田暢彦ほか (1987) : 潮沼調査法, 古今書院
- 14) 田中勝久ほか (1982) : 有明海における懸濁物質の研究——II. 筑後川河口域における植物プランクトンとデトリタスの分布と挙動, 西水研研報, 19-29
- 15) 村上和男 (1981) : 有限要素法による潮汐流の数値計算, 港湾技研資料, 404, 1-95
- 16) Kawahara et al., (1982): Selective Lumping Finite Element Method for Shallow Water Flow, Int. J. Num. Meth. Engng., 2, 89-112
- 17) 川原睦人 (1985) : 有限要素法流体解析, 日科技連
- 18) Nakazawa et al., (1980): An Analysis of Explicit Finite Element Approximation for Shallow Water Equations. Proc. 3rd. Int. Symp. on Finite Method in Flow Problems, II, 1-12
- 19) Allen (1984): Why Upwinding is Reasonable, Proc. 5th. Int. Conf. on Finite Elements in Water Resour. 13-23
- 20) 大西亮一 (1977) : 潮流および潮流による拡散——数値解析を用いた検討——, 農林研究センター報告, B 5, 35-64
- 21) 大西和榮ほか (1986) : パソコンによる流れ解析, 朝倉書店